

DWUBIEGOWY SILNIK INDUKCYJNY O STOSUNKU PRĘDKOŚCI OBROTOWYCH 1:3

POLE CHANGING INDUCION MOTOR WITH 1:3 SPEED RATIO

Abstract: This paper describes a new concept of using conventional induction motor as a two speed induction motor. By switching supply from three phase to single phase with all windings connected in series it is possible to triple magnetic pole number. There are shown basic properties of such a solution. Results of FEM calculation including flux pattern and normal component of flux density along an airgap are presented. Torque-speed and current-speed characteristic of studied motor are also presented. Some transients including torque, speed and current versus time during start up and switching to single phase supply are shown.

1. Wstęp

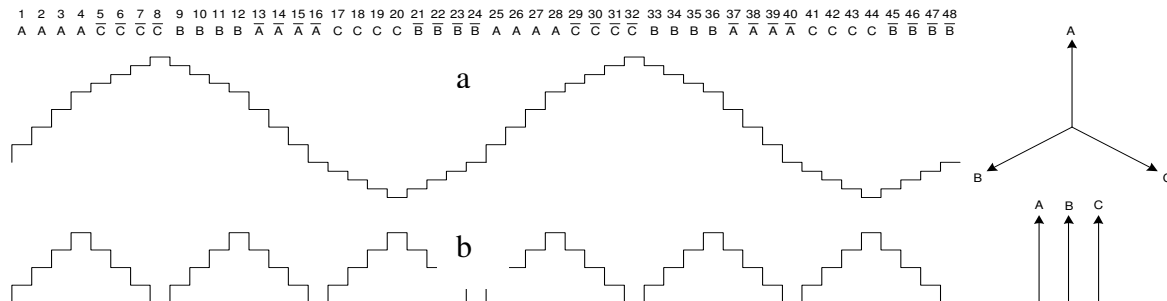
W napędach przystosowanych do bezpośredniego zasilania z sieci zdecydowaną większość stanowią silniki indukcyjne klatkowe. Najprostszą metodą regulacji prędkości obrotowej w takich napędach jest zmiana liczby biegunów pola magnetycznego. Uzwojenie twornika takich maszyn składa się bądź z dwóch niezależnych uzwojeń bądź z jednego uzwojenia przełączalnego. W obu przypadkach silnik dwubiegowy ma gorsze parametry niż silnik jednobiegowy klasycznej budowy. W rozwiązaniu z dwoma niezależnymi uzwojeniami wykorzystywane jest tylko jedno z uzwojeń, a maszyna ma większe żłobki i średnicę zewnętrzną. W silnikach z uzwojeniem przełączalnym wykorzystanie materiału czynnego stojana jest znacznie lepsze, jednak współczynniki uzwojenia dla obu prędkości są mniejsze niż w maszynach jednobiegowych. Dodatkowo w drugim rozwiązaniu uzwojenie jest dwuwarstwowe co uniemożliwia zastosowanie procesu automatycznego zwojenia stojana, to zaś stanowi utrudnienie przy seryjnej produkcji.

Celem pracy jest wykazanie możliwości uzyskania dwóch prędkości obrotowych w silniku indukcyjnym o klasycznym jednobiegowym uzwojeniu stojana.

2. Koncepcja

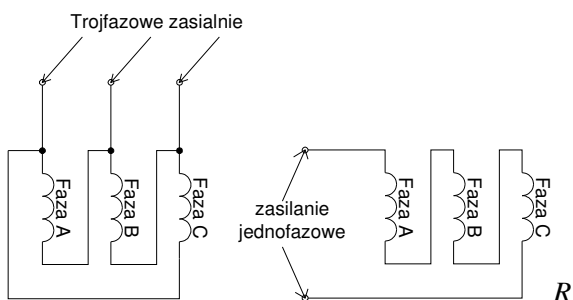
Koncepcję połączeń dwubiegowego silnika indukcyjnego pokazano na przykładzie klasycznego silnika z uzwojeniem jednowarstwowym ułożonym w 48 żłobkach.

Obwodowy rozkład zezwojów tego uzwojenia pokazano na rysunku 1. Uzwojenie takie zasilane trójfazowo wytwarza pole wirujące kołowe o czterech biegunach magnetycznych. Obwodowy rozkład siły magnetomotorycznej tego uzwojenia, dla wybranej chwili czasowej, przedstawiono na rysunku 1a. Z klasycznej analizy harmonicznej wynika, że o ile podstawowa harmoniczna czterobiegunowa indukuje w rozpatrywanym uzwojeniu układ napięć trójfazowych wirujących, to trzecia harmoniczna indukuje w poszczególnych pasmach fazowych układ napięć współfazowych.



Rys. 1. Obwodowy rozkład uzwojenia oraz siły magnetomotorycznej dla zasilania trójfazowego (a) oraz jednofazowego z wszystkimi fazami połączonymi szeregowo (b)

Zasilając jednofazowo w odpowiedni sposób połączone, tradycyjne uzwojenie trójfazowe, można wymusić powstanie 3. harmonicznej siły magnetomotorycznej o amplitudzie większej od amplitud wszystkich pozostałych harmonicznych. Schemat połączenia i zasilania uzwojenia pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat połączenia i zasilania uzwojenia

Zasilanie napięciem jednofazowym szeregowo połączonych pasm fazowych powoduje przepływ prądu współfazowego we wszystkich fazach. Obwodowy rozkład siły magnetomotorycznej sporządzony przy założeniu, że we wszystkich fazach płynie ten sam prąd, przedstawiono na rysunku 1b. Wynika stąd, że uzwojenie trójfazowe przy zasilaniu jednofazowym wszystkich faz połączonych szeregowo, wytwarza pole magnetyczne o 3 krotnie większej liczbie par biegunów w stosunku do zasilania trójfazowego. Wytwarzane pole magnetyczne jest polem pulsującym co jest naturalną konsekwencją zasilania jednofazowego.

Występowanie, przy specjalnym połączeniu uzwojeń, pola o innej liczbie par biegunów, stwarza możliwość wykorzystania silnika o tradycyjnym uzwojeniu do pracy przy dwóch prędkościach obrotowych. Zasilany trójfazowo silnik posiada parametry klasycznego silnika indukcyjnego, trójfazowego natomiast przy zasilaniu jednofazowym z wszystkimi fazami połączonymi szeregowo zachowuje się jak silnik jednofazowy o trzykrotnie większej liczbie par biegunów.

3. Polowo-obwodowy model badanego silnika

Dla zbadania właściwości silnika indukcyjnego pracującego zgodnie z przedstawioną koncepcją wykonano dwuwymiarowy polowo-obwodowy model obliczeniowy. Model ten nie różni się znacząco od innych modeli silników indukcyjnych znanych z literatury. Różnice dotyczą tylko części obwodowej modelu, w której

przewidziano możliwość zasilania jednofazowego wszystkich faz połączonych szeregowo.

W modelu polowo-obwodowym wykorzystano konstrukcję i magnetowód seryjnego silnika indukcyjnego opisanego w [2].

Dane znamionowe tego silnika zestawiono w tabeli 1. Przekrój poprzeczny oraz fragment siatki dyskretyzacyjnej przedstawiono na rysunku 3.

Tabela 1. Parametry znamionowe badanego silnika w wykonaniu fabrycznym

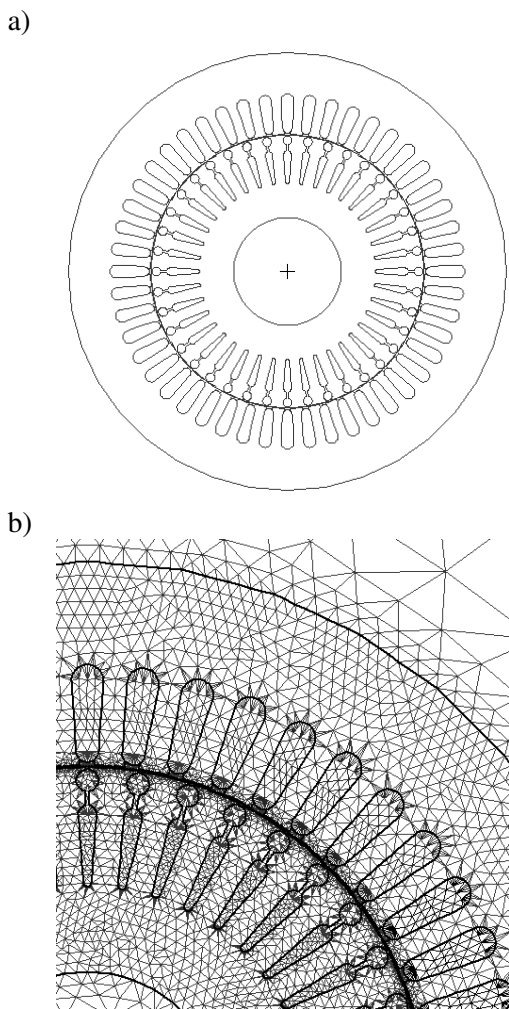
Moc znamionowa	P_n	18,5 kW
Prędkość obrotowa znamionowa	n_n	1450 obr/min
Znamionowy moment obrotowy	M_n	121 Nm
Napięcie znamionowe	U_n	380 V
Prąd znamionowy	I_n	37 A
Znamionowy współczynnik mocy	$\cos \varphi_n$	0,91

4. Wyniki obliczeń

Wykorzystując opracowany model polowo-obwodowy badanego silnika wykonano obliczenia pola magnetycznego i wyznaczono jego parametry.

Na rysunku 4a pokazano rozkład linii pola magnetycznego w stanie nieobciążonym silnika przy zasilaniu trójfazowym. Natomiast na rysunku 4b pokazano podobny rozkład linii pola dla zasilania pasm fazowych połączonych szeregowo. Z rysunku wynika jednoznacznie, że zmiana zasilania trójfazowego na jednofazowe powoduje zmianę liczby biegunów pola magnetycznego z czterech na dwanaście.

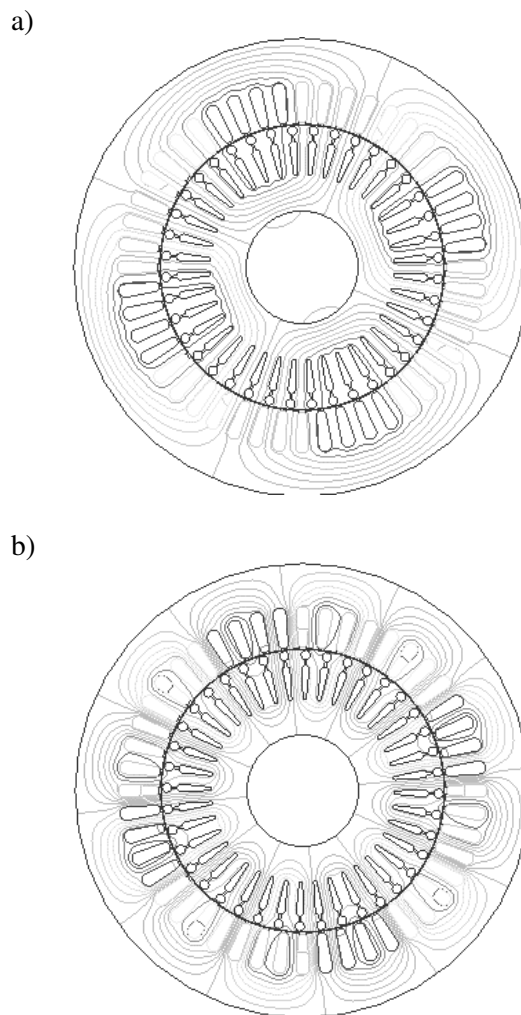
Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń pola wyznaczono obwodowy rozkład składowej normalnej indukcji w szczelinie powietrznej (rys 5.) dla obu układów połączeń uzwojenia: trójfazowego (a), jednofazowego zasilanego napięciem fazowym (b) oraz jednofazowego zasilanego napięciem międzyfazowym (c). Z wykresów tych wynika, że przy jednofazowym zasilaniu uzwojenia napięciem międzyfazowym maksymalna wartość indukcji w szczelinie powietrznej jest porównywalna z wartością indukcji przy tradycyjnym zasilaniu trójfazowym.



Rys. 3. Fragment siatki dyskretyzacyjnej silnika modelowanego

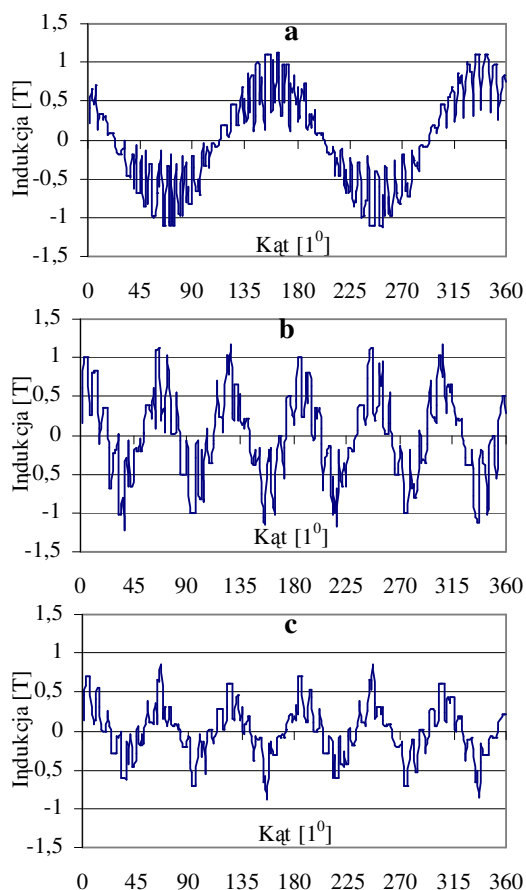
Z obliczeń modelu połowo-obwodowego wyznaczono charakterystyki statyczne badanego silnika. Charakterystykę momentu oraz prądu w funkcji prędkości obrotowej obliczono przy założeniu stałej (parametrycznie zmiennej) prędkości obrotowej silnika. Średnią wartość momentu oraz skuteczną wartość prądu pobieranego ze źródła wyznaczono dla stanu ustalonego. Przebiegi tych charakterystyk pokazano na rysunku 6.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że badany silnik przy zasilaniu jednofazowym ma znacznie mniejszy moment obrotowy niż przy zasilaniu trójfazowym.

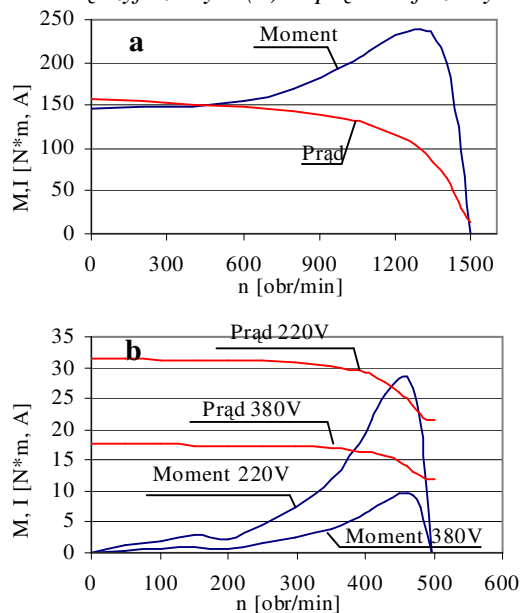


Rys. 4. Rozkład linii sił pola magnetycznego przy zasilaniu trójfazowym (a) oraz jednofazowym (b)

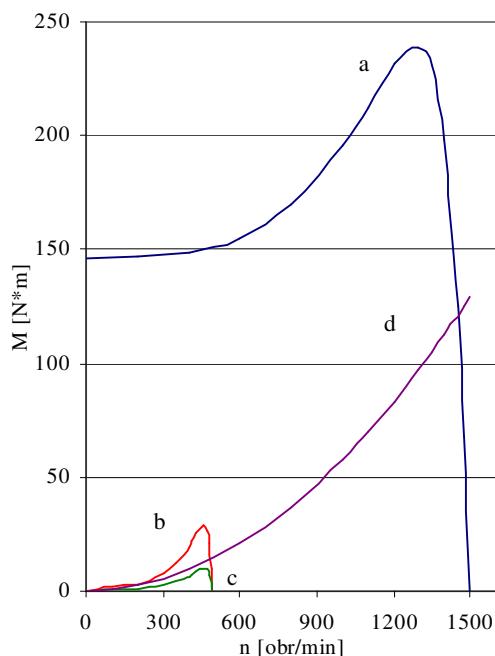
Maksymalna wartość momentu przy zasilaniu jednofazowym napięciem międzyprzewodowym (380 V) stanowi 23% momentu znamionowego, a przy zasilaniu napięciem fazowym (220 V) zaledwie 8% momentu znamionowego silnika trójfazowego. Jedną z przyczyn małej obciążalności jest pulsujący charakter pola przy zasilaniu jednofazowym. Podobnie jak w jednofazowych silnikach indukcyjnych występuje składowa przeciwbieżna pola, której efektem są dodatkowe straty mocy oraz większy prąd biegu jałowego. W rozpatrywanym przypadku prąd magnesujący może być nawet większy niż w innych silnikach jednofazowych ze względu na mały współczynnik uzwojenia dla połączenia jednofazowego wynoszący $k_u=0,67$.



Rys. 5. Obwodowy rozkład składowej normalnej indukcji w szczelinie powietrznej dla zasilania trójfazowego (a) oraz jednofazowego: napięciem międzyfazowym (b) napięciem fazowym (c)



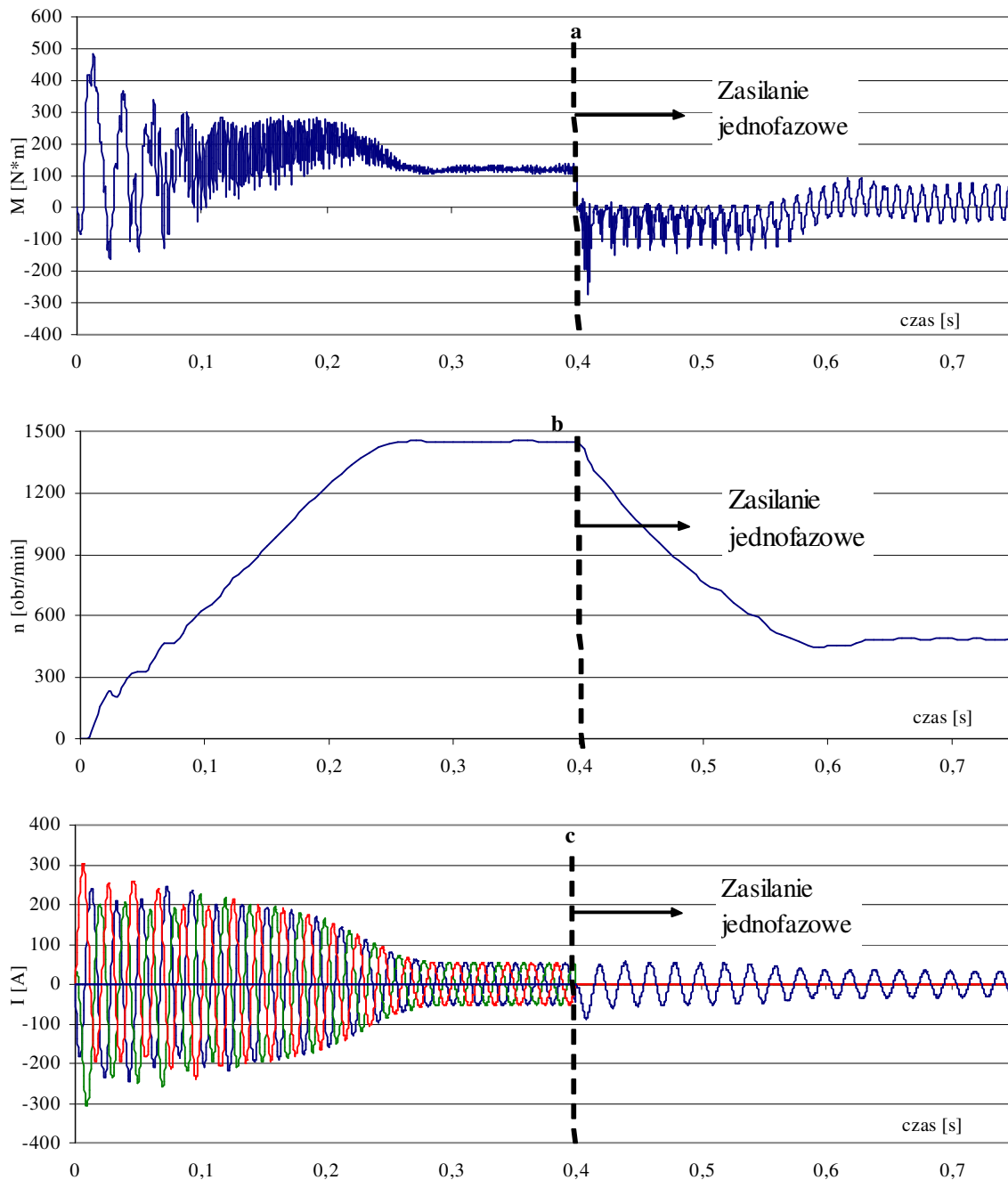
Rys. 6. Charakterystyka momentu oraz prądu uzwojenia twornika w funkcji prędkości obrotowej dla zasilania trójfazowego (a) oraz jednofazowego (b)



Rys. 7. Charakterystyka mechaniczna silnika dla zasilania trójfazowego (a), jednofazowego napięciem międzyprzewodowym (b) jednofazowego napięciem fazowym (c) oraz charakterystyka obciążenia (d)

Wynika stąd wniosek, że przedstawione rozwiązanie może mieć zastosowanie w napędach, w których moment obciążenia jest silnie zależny od prędkości obrotowej np. w napędach wentylatorów.

W kopalni podziemnej istnieją strefy szczególnego zagrożenia, wymagające intensywnej lokalnej wentylacji podczas pracy górników [1, 3]. Lokalny przepływ powietrza wymuszany jest wentylatorami przodkowymi z silnikami o mocy od 10 do 60 kW. Czas pracy górników w przodku wynosi w okresie zmiany 4-5 godzin. W pozostałym czasie, również w dniach wolnych od pracy, praca wentylatorów przodkowych jest zbędna. Nie można ich jednak wyłączyć ze względu na możliwość zawilgocenia izolacji silników oraz osadzanie pyłów (cementowanie pyłu) na łopatkach wentylatora. Podobne zjawisko występuje w wentylatorach zainstalowanych w chłodniach, które ze względu na technologię mogą być zatrzymywane w okresie zimowym. Występuje jednak niebezpieczeństwo oblodzenia łopatek wentylatora utrudniające ponowny rozruch.



Rys. 8. Przebieg momentu elektromagnetycznego (a), prędkości obrotowej (b) oraz prądu sieciowego (c) w symulowanych stanach pracy

Na rysunku 7 przedstawiono charakterystyki mechaniczne silnika dla obu układów połączeń: trójfazowego i jednofazowego oraz charakterystykę obciążenia (wentylatora). Jak wynika z wykresu, charakterystyka momentu dla połączenia jednofazowego i zasilania napięciem fazowym leży poniżej charakterystyki obciążenia. Oznacza to, że warunkiem stabilnej pracy silnika na mniejszej prędkości obrotowej jest zasilanie go napięciem międzyfazowym.

Wykorzystując model połowo-obwodowy przeprowadzono symulacje rozruchu i zmiany prędkości obrotowej analizowanego silnika w napędzie o wentylatorowej charakterystyce obciążenia. Na rysunku 8 pokazano przebiegi prądu, momentu elektromagnetycznego oraz prędkości obrotowej silnika dla założonego cyklu pracy. Rozruch i praca przy ustalonym obciążeniu silnika na większej prędkości obrotowej trwa

0,4 s. Wyznaczone dla stanu ustalonego parametry silnika nie różnią się więcej niż 5 % od danych podawanych przez producenta (tabela 1). Następnym etapem pracy pokazany na wykresie jest przełączenie uzwojeń stojana i zmiana prędkości obrotowej z 1450 do 485 obr/min.

5. Podsumowanie

Wykonane obliczenia polowo-obwodowe potwierdzają możliwość zbudowania dwubiegowego silnika indukcyjnego klatkowego, który dla większej prędkości obrotowej ma identyczne parametry jak klasyczny silnik jednobiegowy, a jego drugą, mniejszą prędkość obrotową uzyskuje się przez szeregowe zasilenie pasm fazowych napięciem jednofazowym. Silnik ten charakteryzuje się stałym stosunkiem prędkości, który wynosi 1:3 i ze względu na wytwarzany moment elektromagnetyczny może być wykorzystywany do napędów o wentylatorowej charakterystyce mechanicznej.

7. Literatura

- [1]. Antal L., Zawilak J.: *Oszczędność energii elektrycznej w napędach wentylatorów kopalń podziemnych*. Efektywność energetyczna napędów z silnikami elektrycznymi. EENSE. Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne nr 67/2003, wyd. BOBRME Komel, s. 37-42.
- [2]. Cedrat, *End winding characterisation with Flux3d*, July 2002, <http://www.cedrat.com>
- [3]. Kowalski S., Żymalski A., Zawilak J.: *Silniki wielobiegowe w napędach o wentylatorowej charakterystyce mechanicznej*. Mech. Autom. Gór. 1996R. 34 nr 6/7 s. 92-95.

Autorzy

Inst. Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektr.
Politechnika Wroclawska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
ludwik.antal@pwr.wroc.pl
tomasz.zawilak@pwr.wroc.pl

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2006 jako projekt badawczy Nr 3 T10A 005 26.